

Re PCT/PTO 16 FEB 2005

PCT/IB 03 / 036,57

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

08.09.03

*[Handwritten signature]*

10/525136



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

REC'D 02.OCT.2003	
WIPO	PCT

**Aktenzeichen:**

102 38 096.1

**Anmeldetag:**

21. August 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, München/DE;  
Philips Intellectual Property & Standards GmbH,  
Hamburg/DE.

(vormals: Fraunhofer-Gesellschaft zur  
Förderung der angewandten Forschung eV,  
München/DE)

**Bezeichnung:**

Gasentladungslampe

**IPC:**

H 01 J, H 05 H, H 05 G

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 28. August 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

*[Handwritten signature]*

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Stremme

**BEST AVAILABLE COPY**

A 9161  
06/00  
EDV-L



## Gasentladungslampe

### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Gasentladungslampe zur Bereitstellung von Extrem-Ultraviolett- und/oder weicher Röntgenstrahlung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Bevorzugte Anwendungsgebiete sind solche die Extrem- Ultraviolett- (EUV-) Strahlung oder weiche Röntgenstrahlung im Wellenlängenbereich von ca. 1-20 nm benötigen und insbesondere um 13 nm, wie zum Beispiel die EUV-Lithographie oder die Röntgenmikroskopie.

### Stand der Technik

Es ist allgemein bekannt, ein dichtes heißes Plasma als strahlungsemittierendes Medium zur Bereitstellung von EUV- und/oder weicher Röntgenstrahlung einzusetzen. Die Gasentladungslampe besteht dabei typischerweise aus einem Elektrodensystem mit Anode und Kathode, welches an einen Strompuls-generator angeschlossen ist. Der zwischen den Elektroden befindliche Entladungsraum ist gasgefüllt bei Drücken im Bereich von ca. 1 Pa bis 100 Pa. Im Entladungsraum entsteht durch einen gepulsten Strom mit Stromstärken vom einstelligen Kiloamperebereich bis max. 100 kA und Pulsdauern im Bereich von 10 ns bis einigen 100 ns ein sogenanntes Pinchplasma, welches durch ohmsche Heizung und Kompression durch den Pulsstrom auf Temperaturen von einigen 10 eV und Dichten gebracht wird, dass es charakteristische Strahlung des verwendeten Arbeitsgases im interessierenden Spektralbereich emittiert.

Um das strahlungsemittierende Plasma bereitzustellen ist es erforderlich, Ladungsträger in den Entladungsraum zwischen Anode und Kathode zu injizieren bzw. einzubringen, oder aber dort zu erzeugen. Hierzu sind geeignete Mittel zur Vorionisierung eines Gases erforderlich, so zum Beispiel ein Oberflächenfunktentrigger, ein hochdielektrischer Trigger, ein ferroelektrischer Trigger, oder ein Glimmentladungstrigger.

Weiterhin ist bekannt, Ladungsträger über ein Hohlkathodenplasma bereitzustellen, was anhand von Fig. 1 schematisch dargestellt ist. Das Elektrodensystem besteht hier aus Anode 1 und Kathode 2 mit jeweils gegenüberliegenden Öffnungen 3 bzw. 4, und einem dazwischen befindlichen elektrischen Isolator 5. Im Entladungsraum 6 liegt auf der gestrichelt dargestellten Symmetrieachse 7 ein Plasmakanal 8 vor. Das Plasma emittiert die Strahlung, was durch die Pfeile angedeutet wird. Die Kathode 2 weist ferner einen Hohlraum 9 auf, in dem Ladungsträger wie insbesondere Elektronen durch geeignete Mittel zur Vorionisierung erzeugt werden.

Alternativ zur aktiven Bereitstellung von Startelektronen durch Mittel zur Vorionisierung kann auch ein Betrieb vorgesehen sein, bei dem die Startelektronen im Selbstdurchbruch entstehen. Der Selbstdurchbruch kann hierbei durch eine Triggerlektrode im Raum 9 gesteuert werden, wodurch die Strahlungspulse zeitlich präzise ausgelöst werden können. Hierbei liegt im Entladungsraum 6 ein Gasdruck von ca. 1 Pa bis 100 Pa vor. Gasdruck und Geometrie der Elektroden sind so gewählt, dass die Zündung des Plasmas auf dem linken Ast der Paschenkurve erfolgt. Die Zündung erfolgt danach im Bereich der langen elektrischen Feldlinien, die im Bereich der Bohrlöcher 3 bzw. 4 auftreten. Zur Bereitstellung des strah-

lungsemittierenden Plasmas erfolgt zunächst eine Ionisierung des Gases entlang der Feldlinien im Bohrlochbereich. Diese Phase schafft die Bedingungen zur Ausbildung eines Plasmas in der Hohlkathode, weshalb von einem Hohlkathodenplasma gesprochen wird. Dieses Plasma führt dann zu einem niederohmi-  
5 gen Kanal im Elektrodenzwischenraum. Über diesen Kanal wird ein gepulster Strom geschickt, der durch die Entladung elektrischer gespeicherter Energie in einer Kondensatorbank generiert wird. Der Strom führt zur Kompression und Auf-  
10 heizung des Plasmas, so dass Bedingungen für die effiziente Emission charakteristischer Strahlung des genutzten Entladungsgases im EUV-Bereich erreicht werden.

Nach diesem Funktionsprinzip arbeitende Gasentladungslampen werden zum Beispiel in der WO 99/29145 und der WO 01/01736  
15 beschrieben. Die letztgenannte Druckschrift sieht zudem diverse Maßnahmen vor, um die Effizienz bei der Umwandlung der eingespeisten elektrischen Energie in Strahlungsenergie zu erhöhen, und hierbei auch die Wahl einer nicht durchgehenden Öffnung in der Anode konischen Zuschnitts. Durch diese geo-  
20 metrische Ausgestaltung der Anodenvertiefung soll die Strahlungsausbeute erhöht werden.

Die WO 02/07484 offenbart eine Gasentladungslampe, bei der auf einer Symmetrieachse ein Pinchplasma geschaffen wird, welches die Strahlung im relevanten Spektralbereich emit-  
25 tiert. Die Schrift lehrt, in einem Außenbereich mittels einer gepulsten Gleitentladung eine Vorionisierung vorzunehmen, wobei die entstandenen Ladungsträger über eine axiale Apertur in einer der Elektroden in den Entladungsbereich gelangen sollen. Hierbei ist vorgesehen, dass der Vorionisierungsbereich nicht mit der Achse des Pinchplasmakanals op-  
30 tisch kommuniziert.

### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde eine Gasentladungslampe mit einem im EUV- und/oder weichen Röntgenwellenlängenbereich emittierenden Plasma bereitzustellen, die eine verbesserte Stabilität der Strahlungsemission aufweist.

Die Lösung dieses technischen Problems erfolgt durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen werden durch die abhängigen Ansprüche angegeben.

10 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass das oben genannte technische Problem durch die Bereitstellung einer Gasentladungslampe gelöst wird, bei der sich die durchgehende Elektrodenöffnung in Richtung des Außenbereichs verjüngt. Mit anderen Worten soll der Durchmesser der Elektrodenöffnung auf der dem Entladungsraum zugewandten Seite größer sein als auf der dem Entladungsraum abgewandten Seite.

Als Außenbereich ist derjenige Raumbereich zu verstehen, in welchem Ladungsträger erzeugbar sind welche über die durchgehende Öffnung in den Entladungsraum transportierbar sind.

20 Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine Steigerung der Stabilität bei der Strahlungsemission, d. h. eine verbesserte Konstanz bei der Emission von Puls zu Puls, dadurch erreicht wird, dass die Vorgänge im Gasentladungsraum und im Außenbereich weitestgehend entkoppelt werden. Die Vorionisierungsvorgänge im Außenbereich mit der Erzeugung von Ladungsträgern beeinflussen nämlich den Entladungsvorgang im Zwischenraum und führen zu einer Destabilisierung der Strahlungsemission.

Es wurde gefunden, dass der Nachteil eines Entladungsaufbaus im Entladungsraum zwischen Anode und Kathode vor Erreichen der angestrebten Haltespannung, d. h. der so genannte Selbstdurchbruch, dadurch gemindert werden kann, dass weniger Ladungsträger vom Außenbereich, zum Beispiel von der Hohlkathode, in den Elektrodenzwischenraum übertragen werden. Hierzu dient die durchgehende Öffnung in der Elektrode, sei es die Anode oder die Kathode, die sich in Richtung des Außenbereichs verjüngt.

- 10 Die auf diese Weise verbesserte Spannungsfestigkeit des Elektrodensystems erlaubt ferner eine Erhöhung der maximalen Wiederholfrequenz bzw. der maximalen Wiederholrate.

Die erfindungsgemäßen Gasentladungslampe kann entweder im Selbstdurchbruchbetrieb genutzt werden, oder es können alternativ zusätzliche Mittel zur Vorionisierung vorgesehen sein. Durch eine derartige Zündvorrichtung kann erreicht werden, dass die Strahlungsimpulse zeitlich präzise ausgelöst werden falls es die Anwendung erfordert.

20 Die sich verjüngende Kathodenöffnung kann unterschiedlich geometrisch beschaffen sein. Dies wird in den Fig. 2 bis 7 dargestellt, die eine Vergrößerung des in Fig. 1 dargestellten gestrichelten Bereichs wiedergeben. Der vergrößert dargestellte Bereich ist in den Fig. 2 bis 7 gegenüber Fig. 1 um 90° im Gegenuhrzeigersinn gedreht.

25 Möglich sind kontinuierliche oder stufenförmige Übergänge in der Öffnung gemäß Fig. 2 bis 6, und auch die Bereitstellung einer Öffnung mit einer Einschnürung, vgl. Fig. 7, d. h. einer Verkleinerung des Durchmessers welche von einer Vergrößerung des Durchmessers gefolgt wird.

- Weiterhin zeigt eine sich in Richtung des Außenbereichs verjüngende Elektrodenöffnung Vorteile bei der Erosion der Elektrodenoberfläche. Bei der Erzeugung eines Pinchplasmas werden nämlich Pulsenergien von typischerweise einigen Joule
- 5 bis mehreren 10 J umgesetzt. Ein wesentlicher Anteil dieser Energie wird im Pinchplasma konzentriert, was zu einer thermischen Belastung der Elektroden führt. Die thermische Belastung entsteht hierbei durch die Emission von Strahlung und von heißen Teilchen, wie zum Beispiel Ionen. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts sei angemerkt, dass der Ab-
- 10 stand der Anode von der Kathode typischerweise nur einige Millimeter beträgt, und der Durchmesser der Elektrodenöffnung auf der Entladungsseite typischerweise zwischen 8 mm und 20 mm.
- 15 Vorzugsweise ist die Kathode als Hohlkathode ausgeführt, und weist die durchgehende, sich verjüngende Öffnung auf. In diesem Fall ist der Hohlraum der Hohlkathode mit dem Entladungsraum gaszuleitend verbunden. Dies ermöglicht die Zündung eines Hohlkathodenplasmas.
- 20 Zur Minderung der thermischen Belastung wäre ein möglichst großer Abstand der Elektrodenoberfläche zum Pinchplasma vorteilhaft. Typische Durchmesser für die Öffnung der beiden Elektroden liegen im Bereich einiger Millimeter bis einigen 10 Millimetern. Würden demgegenüber größere Öffnungen ge-
- 25 wählt, so könnte zunehmend kein Pinchplasma mehr erzeugt werden, welches im angestrebten Spektralbereich der EUV- und/oder weichen Röntgenstrahlung emittiert, denn mit zunehmender Vergrößerung des Durchmessers wird die erreichbare Plasmatemperatur kleiner. Die Anodenöffnung sollte zudem
- 30 auch deshalb möglichst groß gewählt werden, damit die aus der Anodenöffnung ausgekoppelte Strahlung auch aus großem

9.  
Beobachtungswinkeln zum Pinchplasma möglichst gut optisch zugänglich ist.

Es hat sich experimentell als zweckmäßig erwiesen, den Durchmesser der Kathodenöffnung so zu wählen dass er sich  
5 bis zum Außenbereich um etwa ein Faktor 2 verjüngt.

Es kann ferner vorgesehen sein, dass die Kathode im Öffnungsbereich aus einem anderen Material gefertigt ist als in den anderen Bereichen der Kathode. So kann der Öffnungsbe-  
reich zum Beispiel aus einem niedererosiven Material wie  
10 Wolfram, Molybdän oder anderen niedererosiven Legierungen bestehen um dadurch einen geringeren Abbrand bzw. eine geringe Erosion zu realisieren. Die restlichen Bereiche der Kathode können dann aus gut wärmeleitfähigem Material wie beispielsweise Kupfer bestehen.

15 In einem weiteren Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, dass auf der dem Entladungsraum zugewandten Seite die Anodenöffnung einen kleineren Durchmesser aufweist als die Kathodenöffnung. Bei einer auf dem linken Ast der Paschenkurve be-  
triebenen Gasentladung bedingt dies nämlich längere elektri-  
20 sche Feldlinien dadurch, dass diese Feldlinien nun in die Öffnung hineinreichen, zum Beispiel bis zur Stufe in der Kathodenöffnung gemäß Fig. 4. Dies erlaubt eine Senkung des Gasdrucks im Entladungsraum, was wiederum eine Steigerung der Wiederholfrequenz der Gasentladungslampe ermöglicht. Die  
25 Steigerung der Wiederholfrequenz führt zu einem höheren Maß an auskoppelbarer Strahlungsenergie.

In einem weiteren Aspekt der Erfindung erlaubt der Einsatz einer sich verjüngenden Kathodenöffnung eine einfachere Betriebsweise der Gasentladungslampe. Bei einer sich verjün-  
30 genden Kathodenöffnung hat der Fachmann insgesamt zwei



108

Durchmesser auszuwählen, nämlich den Durchmesser der Kathodenöffnung auf der dem Entladungsraum zugewandten Seite, und zusätzlich den Durchmesser auf der dem Außenraum zugewandten Seite der Kathodenöffnung. Je nach Wahl der beiden Durchmesser gewinnt der Fachmann beim Betrieb der Anlage einen weiteren Freiheitsgrad durch den es ihm leichter fällt, geeignete Betriebsparameter zu wählen.

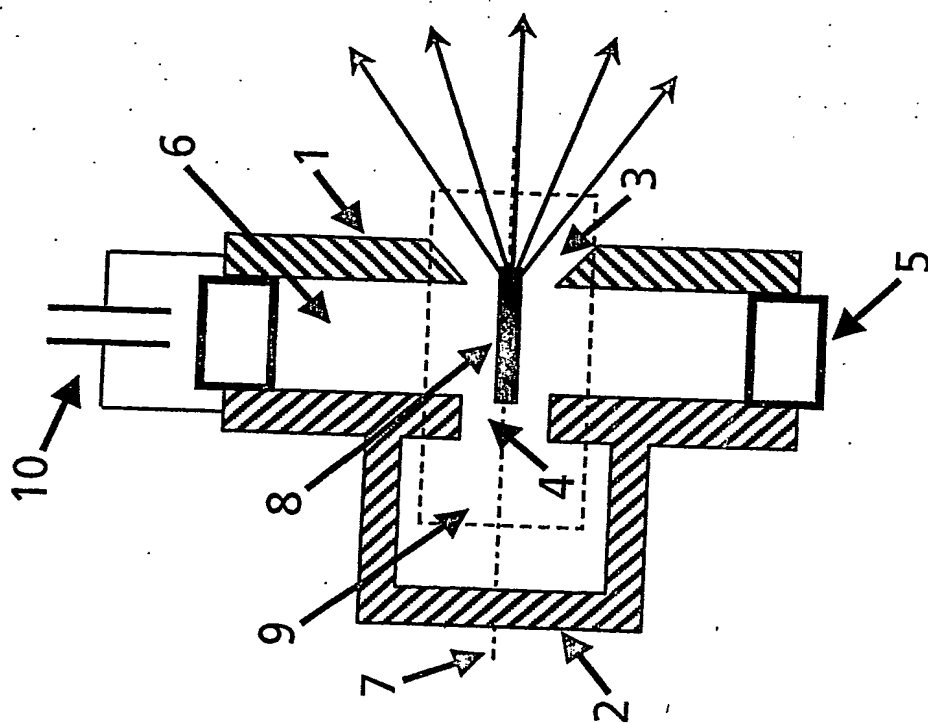
Je nach den Erfordernissen der jeweiligen Applikation kann es nämlich durchaus vorkommen, dass ein höherer Betriebsdruck erforderlich ist. Bei einer Kathodenöffnung welche sich, Entladungsraum beginnend in Richtung des Außenraumes verkleinert, kommt es in vielen Fällen zu einem höheren Betriebsdruck, so dass der Fachmann in diesem Fall die Maximierung der EUV-Außbeute bei vorgegebener Pulsenergie besser vornehmen kann.

Bei anderen experimentellen Situationen kann jedoch genau das Gegenteil erforderlich sein, d.h. es kann erforderlich sein den Betriebsdruck zu senken. Zur Erläuterung sei angeführt, dass die maximal erreichbare Wiederholrate typischerweise mit der Zeit skaliert, mit der die Ladungsträger des Plasmas rekombinieren. In Experimenten hat sich gezeigt, dass die Vergrößerung des Kathodendurchmessers die Wahl eines niedrigeren Betriebsdrucks erlaubt, und dies eine höhere Wiederholrate. Insgesamt wird somit je nach anwendungsspezifischen Erfordernissen eine leichtere Einstellung der Betriebsparameter möglich sein.

**Patentansprüche**

1. Gasentladungslampe für den Wellenlängenbereich extremer  
Ultraviolettstrahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung,  
5 mit mindestens zwei Elektroden (1, 2) zur Bereitstellung  
eines strahlungsemittierenden Plasmas (8) im dazwischen  
befindlichen Entladungsraum (6), bei der eine der  
Elektroden (1, 2) eine durchgehende Öffnung (4) zu einem  
angrenzenden Außenbereich (9) aufweist, wobei im Außen-  
10 bereich (9) Ladungsträger erzeugbar sind welche über die  
Öffnung (4) in den Entladungsraum (6) transportierbar  
sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die Elektroden-  
öffnung (4) in Richtung des Außenbereichs (9) verjüngt.
2. Gasentladungslampe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeich-**  
15 **net**, dass Mittel zur Vorionisierung von Gas im Außenbe-  
reich (9) vorgesehen sind
3. Gasentladungslampe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch ge-**  
**kennzeichnet**, dass die Elektroden im Öffnungsbereich aus  
einem Material gefertigt ist, dass im Vergleich zum  
20 restlichen Elektrodenmaterial niedererosiver ist.
4. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 3 **da-**  
**durch gekennzeichnet**, dass eine Elektrodenöffnung mit  
kontinuierlichem oder stufenförmigem Übergang vorgesehen  
ist.
- 25 5. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **da-**  
**durch gekennzeichnet**, dass innerhalb der Elektrodenöff-  
nung eine Einschnürung vorliegt

6. Gasentladungslampe nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode mit der sich verjüngenden durchgehenden Öffnung ausgestattet ist.



**Fig. 1 Stand der Technik**

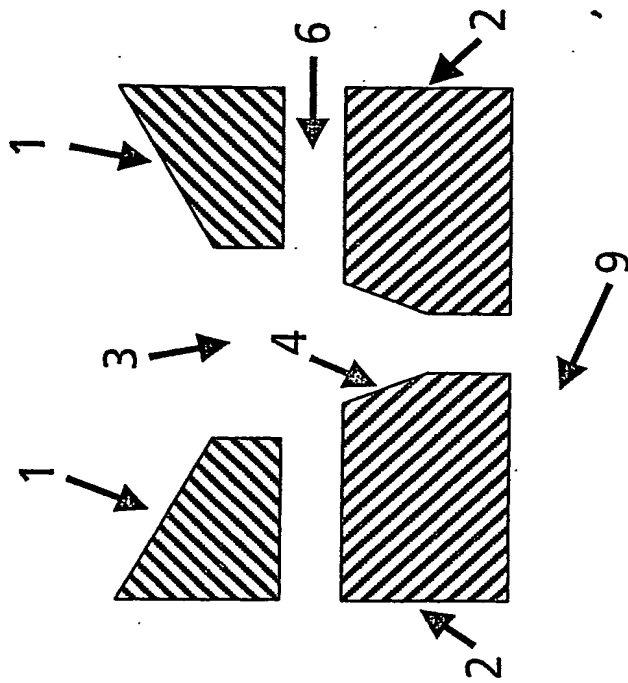


Fig. 2

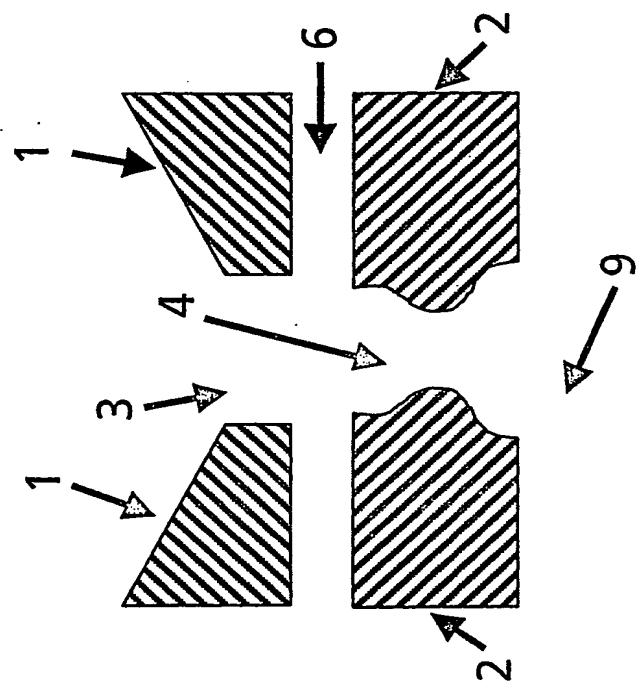


Fig. 3

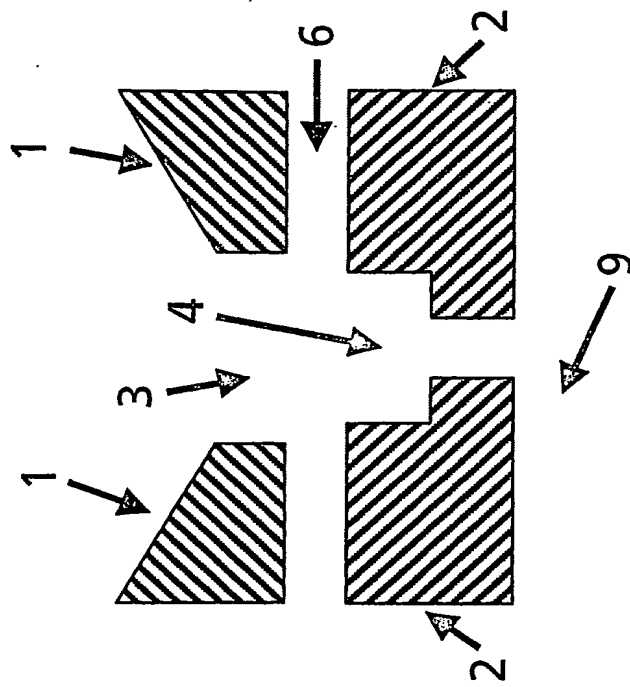


Fig. 4

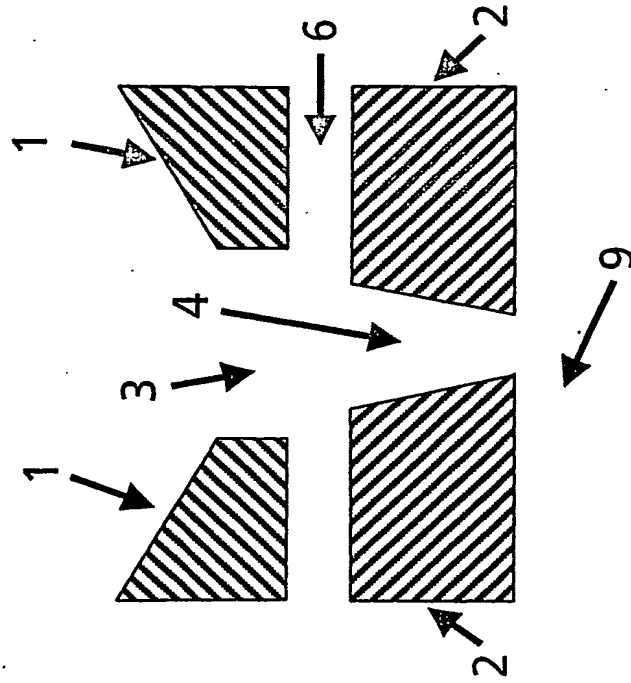


Fig. 5



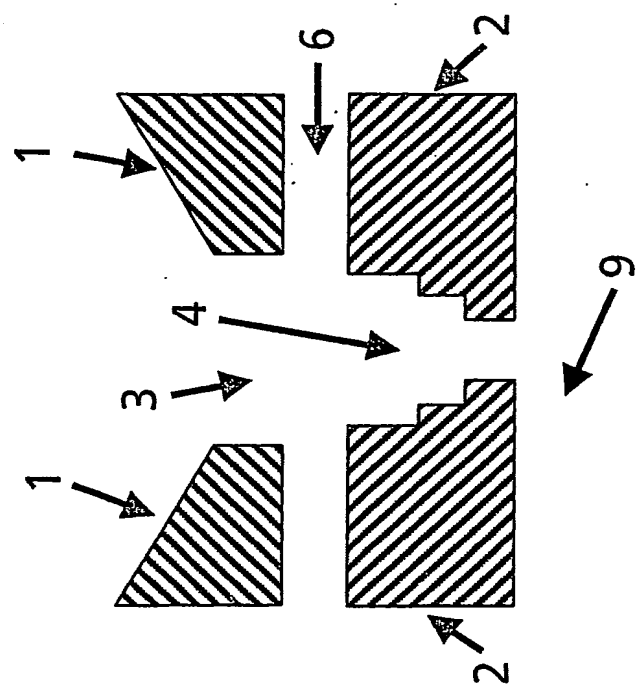


Fig. 6

7/7

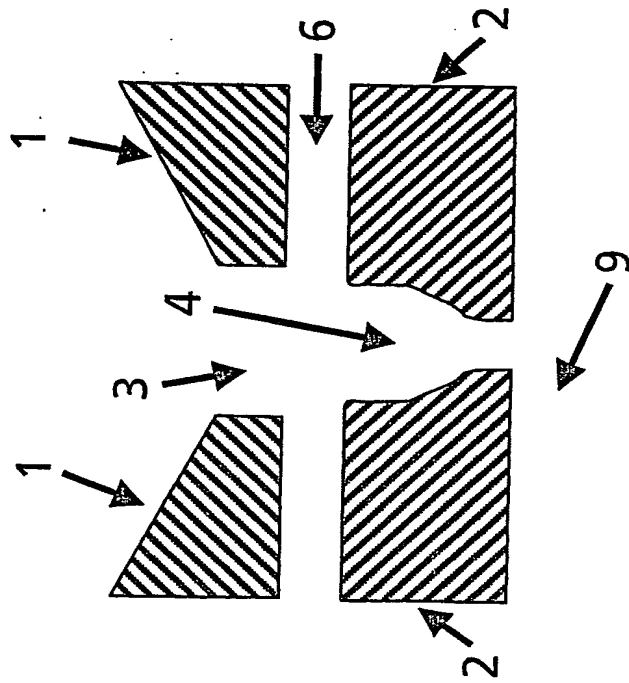


Fig. 7

### Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Gasentladungslampe für den Wellenlängenbereich extremer Ultraviolettstrahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung, mit mindestens zwei Elektroden zur Bereitstellung eines strahlungsemittierenden Plasmas im dazwischen befindlichen Entladungsraum, bei der eine der Elektroden eine durchgehende Öffnung zu einem angrenzenden Außenbereich aufweist, wobei im Außenbereich Ladungsträger erzeugbar sind welche über die Öffnung in den Entladungsraum transportierbar sind, und die dadurch gekennzeichnet ist, dass sich die Elektrodenöffnung in Richtung des Außenbereichs verjüngt.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**